

PAT-NO: JP360029878A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 60029878 A

TITLE: DETECTOR FOR CIRCULAR BODY

PUBN-DATE: February 15, 1985

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HONGO, YASUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

FUJI ELECTRIC CO LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP58138571

APPL-DATE: July 28, 1983

INT-CL (IPC): G06K009/00, G06F015/62 , G06K009/36

US-CL-CURRENT: 382/203

ABSTRACT:

PURPOSE: To obtain data on an independent circle and an arc by picking up an image of plural bodies whose contours are arcuate or enveloped with an arc, making a raster scan and converting data into binary data, and operating a scanning segment terminal part and the overlap state of segments.

CONSTITUTION: An image 12 of the plural circular bodies 11 on a background 10 is picked up while they overlap one another. The video signal obtained by making the raster scan on the image is converted 13 into a binary signal to

obtain a picture as shown in a figure 24. This information is written in a picture memory in DMA mode by a picture information input circuit 14 which includes the picture memory and a picture feature extraction part. A connectivity analyzing part 15 detects 16 boundary points on the basis of line segment information (coordinates and length of segment terminal part and whether the segment overlaps an adjacent segment or not) on the binary-coded picture from the feature extraction part, and carries out the trace arithmetic 17 of inner and outer circumferential points, arithmetic 18 of arcuate parts, arithmetic 19 of estimated circles, and output 20 of detection results to constitute body circle detection data. Consequently, the positions, sizes, and number of overlapping circles are detected.

COPYRIGHT: (C)1985,JPO&Japio

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-29878

⑤ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和60年(1985)2月15日

G 06 K 9/00
G 06 F 15/62
G 06 K 9/36

Z-6619-5B
7157-5B
7157-5B

審査請求 未請求 発明の数 1 (全10頁)

⑭ 発明の名称 円形物体検出装置

⑯ 特 願 昭58-138571

⑰ 出 願 昭58(1983)7月28日

⑱ 発 明 者 本 郷 保 夫 川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機製造株式会社内

⑲ 出 願 人 富士電機株式会社 川崎市川崎区田辺新田1番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 山 口 巖

明 細 書

1. 発明の名称 円形物体検出装置

2. 特許請求の範囲

1) 輪郭に円弧または円弧を包絡線とする形状を有する複数の物体を撮像した画像をラスター走査したのち、2値化手段を介して2値化画像に変換し、前記円形物体の位置と大きさを検出する装置において、前記2値化画像における前記円形物体のパターンの走査セグメントの端部の座標、隣接の前走査セグメントとの重なり、を検出する画像特徴抽出手段と、前記画像特徴抽出手段による前記重なり情報に基づき、前記2値化画像の全ての走査セグメントに独立パターンごとのパターン番号を付加する連結性解析手段と、同一のパターン番号を有する走査セグメントの端部の座標を前記独立パターン^(出)の境界点の座標として検出する境界点検手段と、前記独立パターンを外周に沿って左回り(右回り)に1周して前記境界点を追跡し、追跡の順に並ぶ各境界点の座標、該境界点から隣接の境界点に向かう追跡方向を示す方向コード、

からなる外周点列データ、または独立パターンごとの前記境界点のうち前記外周点列に属する境界点を除いたものを当該のパターンの内周に沿って前記外周の場合と同様に追跡し、前記外周点列データと同様な内周点列データ、のいずれか一方又は両方のデータを出力する外/内周点追跡演算手段と、前記外/内周点列データから前記の境界点の追跡における凸画像部の外/内周点列の座標を区分抽出して外/内周・凸部点列データとして出力する凸画像部分離手段と、前記外/内周・凸部点列データを構成する外/内周点を、順次隣接する複数の外/内周点ごとに選択し外/内周代表点として出力する外/内周・代表選択手段と、前記外/内周代表点における、順次隣接する3点を通る個別円弧の複数の各中心座標、半径を演算出力する個別円弧演算手段と、前記個別円弧のうち中心座標、半径の値が共に近い値を持つものを同一円に属するものとして分離する同一円・個別円弧群分離手段と、同一円に属する前記の各個別円弧に対応する各データを用いて推定円の中心座

Best Available Copy

標、半径を演算出力する推定円演算手段と、からなることを特徴とする円形物体検出装置。

2) 特許請求の範囲第1項に記載の検出装置において、前記推定円演算手段は、各個別円弧の中心座標、半径の各々の平均値を推定円の中心座標、半径のそれぞれの第1次近似値とし、各個別円弧に対応する外/内周代表点の少なくとも1部からなる点の座標と推定円の中心座標との距離から該推定円の半径を差引いた残差の2乗の和を最小とするような所要次数の逐次近似を行うことを特徴とする円形物体検出装置。

3) 特許請求の範囲第1項または第2項に記載の検出装置において、前記凸画像部分離手段は、前記外/内周点列データにおける前記方向コードの値が、前記の追跡の順に増加(減少)している区間における外/内周点列の座標を区分抽出する手段であることを特徴とする円形物体検出装置。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の属する技術分野〕

この発明は、TVカメラなどの撮像手段を用い、

重なりなどを含んで乱雑に配置されている食品容器などの円形物体を分離して、個々の物体の直径を計測する画像処理装置に関する。

〔従来技術とその問題点〕

もTVカメラなどの撮像手段を用いて個々の物体を撮像し、その撮像信号から物体の大きさ(面積、直径、外周長)などを求めて物体を識別することが、例えばコンベアにより搬送されてくる物体の良否を識別して物体の仕分けなどを行なう場合に用いられている。このような場合に、従来は個々の物体がそれぞれ分離独立しているものを対象としていたために、撮像信号から物体の大きさを求めることが簡単であつたが、TVカメラによる物体の識別が数多くの分野において適用されてくると、当然のことながら、個々の物体が分離独立しているのばかりではなく、重なり合っているような場合にも適用できることが要求されてくる。ところが重なり合っている物体をTVカメラで撮像した場合には、撮像した画像は1つの物体として映るため、各物体の正しい大きさを求めること

ができなかつた。

例えば、社員食堂などにおいて自動化を行なうために、食器容器の大きさに値段を対応づけておき、第1図に示すように盆1におかれた社員が自由に選択した料理の容器2, 3をTVカメラ4にて撮像し、その撮像信号から容器2, 3の大きさを求めて値段を算出することが考えられる。このような場合、上からみて容器2と3が重なる場合には、撮像した画像は第2図に示すようになってしまう、容器2, 3のそれぞれの大きさを求めることが困難であつた。このために、第1図に示すようにTVカメラ5を盆1の下方に配置し、盆1の上方に照明8, 9を配置して盆1に容器2, 3の糸尻部6, 7が明確に写るようにして第3図に示すような画像を得ることも考えられている。この場合には糸尻部の大きさと値段を対応づけておくことにより値段を求めることができ、また糸尻部は絶対に重なり合うことがないために画像が第3図に示すように必ず分離したものになるので糸尻部の大きさを求めることは簡単である。

ところが、この装置の場合には糸尻部が鮮明に出る必要があるために、

- ① 離れている他の容器の影が重なる場合、
- ② 容器同士が乗り合っている場合、
- ③ 異物により、容器が浮いて糸尻の影が鮮明に出ない場合、

などの要因で、独立した糸尻を撮像できないときは判別が不可能となる。

〔発明の目的〕

本発明は、前記の欠点を除き、食品容器などの円形物体が重畳している場合でも、容器の個数、位置、大きさなどを検知し得る画像処理装置に係るもので、これにより、ランダムに置かれている円形物体の位置、大きさを正確に知ることができ、従来の装置より、広範囲の応用分野に適用できる装置を提供することを目的とするものである。

〔発明の要点〕

本発明の要点は、輪郭に円弧または円弧を包絡線とする形状を有し、重畳したものを含む複数の物体を撮像した画像をラスタ走査したのち、2

値化手段を介して2値化画像に変換し、前記円形物体の位置と大きさを検出する装置において、前記2値化画像における前記円形物体のパターンの走査セグメント(ラインセグメント)の端部の座標、隣接の前走査セグメントとの重なり、を検出する画像特徴抽出手段と、前記画像特徴抽出手段による前記重なり情報に基づき、前記2値化画像の全ての走査セグメントに独立パターンごとのパターン番号を付加する連結性解析手段と、同一のパターン番号を有する走査セグメントの端部の座標を前記独立パターンの境界点の座標として検出する境界点検出手段と、を設けることにより独立パターンごとの境界点データを分離したのち、前記独立パターンを外周に沿って左回り(右回り)に1周して前記境界点を追跡し、追跡の順に並ぶ各境界点の座標、該境界点から隣接の境界点に向かう追跡方向を示す方向コード、からなる外周点列データ、または独立パターンごとの前記境界点のうち前記外周点列に属する境界点を除いたものを当該のパターンの内周に沿って前記外周の場合

と同様に追跡し、前記外周点列データと同様な内周点列データ、のいずれか一方又は両方のデータを出力する外/内周点追跡演算手段と、前記外/内周点列データにおける前記方向コードの値が、前記の追跡の順に増加(減少)している区間における外/内周点列の座標を区分抽出して凹み画像部すなわち各物体円の接続部を除き、凸画像部すなわち各物体円に対応すると思われる部分ごとの外/内周・凸部点列データとして出力する凸画像部分離手段と、前記外/内周・凸部点列データを構成する外/内周点を、演算時間を短縮するために順次隣接する複数個の外/内周点ごとに選択し外/内周代表点として出力する外/内周・代表点選択手段と、前記外/内周代表点における、順次隣接する3点を通る個別円弧の複数個の各中心座標、半径を演算出力する個別円弧演算手段と、前記個別円弧のうち中心座標、半径の値が共に近い値を持つものを同一円に属するものとして分離する同一円・個別円弧群分離手段と、これらの個別円弧群に最小二乗法を適用して導かれる推定円す

なわち、同一円に属する前記の各個別円弧に対応する各データを用いて推定円の中心座標、半径を演算出力する推定円演算手段と、を設け前記推定円演算手段は、各個別円弧の中心座標、半径の各々の平均値を推定円の中心座標、半径のそれぞれの第1次近似値とし、各個別円弧に対応する外/内周代表点の少なくとも1部からなる点の座標と推定円の中心座標との距離から該推定円の半径を差引いた残差の2乗の和を最小とするような所製次数の逐次近似を行うことにより演算の収束を早め、演算時間を短縮するようにした点にある。

〔発明の実施例〕

以下第4図～第12図に基づいて本発明を説明する。第4図は本発明検出装置の実施例の構成を示すブロック図である。同図において、10は背景、11は検出対象の円形物体、12はテレビカメラなどの撮像手段、22は円形物体検出装置であり、13は2値化回路、14は画像メモリや画像特徴抽出部を含む画像情報入力回路、15は連結性解析部、16は境界点検出部、17は外/内

周点追跡演算部、18は凸画像部分離部、外/内周・代表点選択部、個別円弧演算部を含む円弧演算部、19は同一円・個別円弧群分離部、最小二乗円演算部を含む推定円演算部、20は検出結果出力部、21は円の個数、位置、大きさを示す物体円検出データである。

まず細部の説明に先立ち、第4図の概略の動作を説明すると、背景10上に円形物体11が乗っていて、それらの形状によつては、上方から撮像手段12で撮像すると重畳していることがある。その画像をラスタ走査したビデオ信号を2値化回路13で2値化して、第5図24のような2値画像に変換する。この2値画像の画像情報は、画像メモリや画像特徴抽出部を含む画像情報入力回路14で、画像メモリ上に、DMAモードで書き込まれる。連結性解析部15では、前記画像特徴抽出部から抽出された前記画像メモリ内の2値画像のラインセグメント情報(ラインセグメントの端部の座標、長さ、隣接ラインセグメントとの重なり部の有無に基づく、属するパターンの番号な

とラインセグメントの特徴抽出データ)に基づいて、一面面の走査終了後ラインセグメントの連結性を解析し、同一の独立パターンに属するラインセグメントに同一のパターン番号を付し、独立パターン間との分離が行われる。境界点検出部16では、独立パターンの境界点座標が、境界点の属するパターン番号とともに検出される。この境界点情報は外/内周点追跡演算部17で解析されて、左回り(または右回り)の外周点列データ、および境界点情報から該外周点列データを除くことにより、内周点列データが得られる。

なおこの内周点列データは多くの円形物体の重畳した場合、該円形物体の外周の一部が重なったパターンの内周に表われる場合に用いられるので、このような可能性が無ければこのデータの抽出や以後の処理は不要となる。内周点列データに対する以後の処理は外周点列データの場合と全く同様であり、以下外/内周と書くときは外周、内周のいずれか一方または両方を意味するものとする。また以下の説明は主として外周を対象として説明

する。

次に重畳円形画像の外/内周点列データから円弧演算部18において、外/内周上の各個別円弧の半径と中心座標を求める。これらの個別円弧データにより、同一円に属する個別円弧データの集合(同一円・個別円弧群データ)を求める。この同一円・個別円弧群データから、推定円演算部19で推定円(最小または物体円とも呼ぶ)の位置、大きさを求める。これにより、画像を構成する円形物体の個数、位置、大きさの3つの正確な情報を得ることができる。これらの検出結果は検出結果出力部20から、物体円検出データ21として外部に出力され、CMTなどのI/O機器に出力される。

円形物体は、重畳していない物体は勿論、重畳しているものでも、完全に重なって見えないものでない限り、輪郭の一部が撮像手段12により、捉えることができれば、この検出装置22によりその全体を推定することができる。

以下に前記の各部の詳細な説明を行う。

第5図に2値化回路13を介し2値化した後の重畳した円形物体の2値画像24を示す。有効画面23内に座標系X、Yが定義され、画像情報入力回路14によつて2値画像の幾何学的情報を画像メモリに入力することができる。

第6図は、2個の物体の独立パターン25、26を含む2値画像の例を示す。「○」印はパターン内の画素としての物体点27を示す。独立パターン25は孔がなく、独立パターン26には1個の孔261がある。

第7図は注目画素としての注目点Aを中心とする8つの隣接画素からなる3×3マスクMを示し、Bを4近傍点、Cを8近傍点と呼ぶ。なお前記物体点27は次の5つに分類される。

- (イ) 内点：4近傍点Bにすべて物体点27がある場合、
- (ロ) 左点：左側に物体点27がない場合、
- (ハ) 右点：右側に物体点27がない場合、
- (ニ) 上点：左点でも右点でもなく、上に物体点27がない場合、

(ホ) 下点：左点でも右点でもなく、下に物体点27がない場合、

これで前記左点、右点、上点、下点の4つが境界点(輪郭点)である。

1 水平走査線上の物体点27の連なりを前述のようにラインセグメントと呼び、画像情報入力回路14によつて抽出された前記ラインセグメント情報に基づき、連結性解析部15では、前述のように一面面の走査終了後各ラインセグメントの前後の連結性を解析しラインセグメントの属する独立パターンごとのパターン番号を各ラインセグメントに与える。次に境界点検出部16において、各独立パターンの外周点および内周点を含む境界点を求め、各境界点がどの独立パターンに属するものかを知ることができる。次に外/内周点追跡演算部17で、各独立パターンの境界点のデータから、各独立パターンごとの外周点列データ、内周点列データすなわち外周または内周(孔261)の境界点の座標と、該座標における後述の方向コードを隣接の順に並べたデータ、を演算して求め

る。

すなわち各独立パターンごとの境界点(左点、右点、上点、下点)の左回り(または右回り)追跡を行う。ここで左(右)回りとは、パターンの輪郭の外周、内周を問はず、パターンを左(右)側に見て追跡する方向を言うものとする。

第8図は、方向コードを示す。これは境界点を追跡していく段階で、各注目点Aと次の隣接の境界点の位置との関係に応じて、図のように1~8の数字で追跡の方向を表現するものである。

この追跡の手順には種々の方法が知られており、例えば本出願人による、特願昭58-9108号「パターンの輪郭追跡方法」に述べた方法を用いることができる。第6図はこのように各独立パターン25、26に外/内周点の左回り追跡を行つた結果を示す。このようにして各独立パターンごとに、まず外周の輪郭点の追跡により各外周点の座標と当該点における方向コードからなる前記外周点列データが得られ、次に残りの輪郭点について内周としての追跡により前記内周点列データが求められる。

第10図は3個の円形物体28,29,30の画像を示す。独立パターンの数は、円形物体29と30が重なっているために、101,102の2個となる。外周点の情報は、前述の手順で各独立パターンごとに求められている。そこで、独立パターン101の場合は、方向コードは連続して1→2→3→4→5→6→7→8→1→2→...の方向(増加方向)に変化する。方向コードが外周点追跡の途中で逆に、8→7→6→5→4→3→2→1→8→7→...の方向(減少方向)に変化する場所を探すと、円形物体29と30の画像の境界点が交叉する場所として交点31と32をみつけることができる。なおこの関係は内周において円形物体の交点を見付ける場合にも全く同様にあてはまる。ただし輪郭の追跡の方向を右回りとしたときは前記の増加方向と減少方向とが入れ替わる。

このようにして、交点31と32の近傍の境界点を削除して、各凸画像部のデータのみからなる境界点データ $\{P_i, N_i, P_i\}$ を求める。ここで P_i は境界点(第10図では外周点でもある)の座標

次に円弧演算部18について説明する。この部

には凸画像部分離部、外/内周代表点選択部、個別円弧演算部が含まれる。

まずこの中の凸画像部分離部の動作を述べる。前記外周点列データ内の方向コードは第9図の実線矢印に示すように、凸形状の独立パターン91では、方向コードは反時計方向(後述の増加方向)に回転するだけであるが、凹形状部921,922を持つ独立パターン92では、当該部921,922で逆戻り(後述の減少方向への回転)を行う。

また内周点列の方向コードの場合は第9図のパターン92を孔のパターン(従つてこのパターンに対する外周のパターンは図外にあるものと仮定する)とすると、方向コードは点線矢印のように推移し、前記の凹形状部921,922は、この場合には凸形状部に置換わり、残りの前記の凸形状部は凹形状部とみなされる。この時方向コードは凸形状部921,922では外周追跡と全く同様に反時計方向(増加方向)に回転し、残りの凹形状部で逆戻り(減少方向への回転)を行う。

(x_i, y_i)であり、同時に座標の原点0から該境界点の座標 P_i に向うベクトル(第10図 V_i)とみなされる。なお以下境界点をこの座標で呼ぶこととする。

また N_i は境界点 P_i の属する独立パターン102の番号、 F_i は境界点 P_i から隣接の境界点に向う方向コード、また i は同一の独立パターン上の各境界点列(外周点列または内周点列)に順次付された番号である。

なおこのようなパターンの輪郭上の凸画像部を検出する方法として、上記の方法を用いれば演算時間が短くてできる利点があるが、他の方法として本出願人により出願されている特願昭58-76771「輪郭特徴検出方式」における輪郭曲率の符号の変化を用いることもできる。

次に個別円弧演算部においては次のような手順で境界点 P_i に対応する個別円弧の中心のデータ(座標、半径)を求める。

ここで同一の独立パターンについて着目すると前記境界点データとしては、 $\{P_i, F_i\}$ だけ考

れば良い。次に後述のように外/内周・代表点選択部によつて選択された3つの境界点 P_{i-1}, P_i, P_{i+1} (何れも第10図)を考える。各点間の線分をベクトル σ_1, σ_2 と表わすと、

$$\sigma_1 = P_i - P_{i-1}$$

$$\sigma_2 = P_{i+1} - P_i$$

となる。ここで $|\sigma_1| = |\sigma_2|$ のとき、つまり前記2つの線分の長さが等しいとき、前記3つの境界点を通る円弧(個別円弧)の半径 R_i^0 は下式で求められる。

$$R_i^0 = S / 2 \cdot \sin(\varphi / 2) \dots\dots\dots (1)$$

ただしここで S はベクトル σ_1 または σ_2 の絶対値(該ベクトルを表わす線分の長さ)である。すなわち、

$$S = |\sigma_1| = |\sigma_2| \dots\dots\dots (2)$$

で表わされ、また φ はベクトル σ_1 または σ_2 に対する前記の円弧の中心角を第10図のように φ_1, φ_2 とすると、

$$\varphi = \varphi_1 = \varphi_2 \dots\dots\dots (3)$$

でありこれらは後述のように求められる。

するとき、点 P_{i-1} から点 P_i までの周の長さ(弧の長さ)はその長さが比較的短いので、同時に、この間の弦の長さ、すなわち前記ベクトル σ_1 の長さ S_1 (前記の S をさらに区分してこのように名付ける)にはほぼ等しく、前記(2)式は

$$S_1 = |\sigma_1| = |P_i - P_{i-1}| \cong n_o + \sqrt{2} n_e \dots\dots\dots (4-1)$$

となつて長さ S_1 が求められる。境界点 P_{i+1} は、点 P_i からの周の長さ、従つてベクトル σ_2 の長さ S_2 (前記と同様に S を区分する)がこの長さ S_1 に近い値(距離)となるように選ばれ前記(4-1)式と同様にして長さ S_2 が求められる。

次に再び個別円弧演算部の説明に戻り、このようにすると前記(2)式のベクトルの長さは長さ S_1, S_2 の平均値とみなすことができ、

$$S = (S_1 + S_2) / 2$$

と置くことにより、前記(1)式は、次式(1)-1のように変形されて半径 R_i^0 が求められる。

$$R_i^0 = (S_1 + S_2) / 4 \cdot \sin(\varphi / 2) \dots\dots\dots (1)-1$$

なおここで $\sin(\varphi / 2)$ については前記(3)式の関係があるときは、角度 φ は第10図のベクトル σ_1

ここで前記外/内周・代表点選択部の動作を述べると、前記個別円弧を求める3点として P_{i-1}, P_i, P_{i+1} を外周点列 $\{P_i\}$ (外周点 P_i の集合)から選択する方法としては、通常はベクトル σ_1 と σ_2 の長さ(絶対値)が同じになるように、または近似的に等しくなるように選択する。この場合、外周点列 $\{P_i\}$ のすべてについて、このような個別円弧の計算をやるのではなく、あらかじめ例えば5点飛びなどの予備代表点を選んだのち、その中から前記のような3点の組となる代表外周点をそれぞれ求める。このようにして演算の回数従つてその時間を短縮するのである。そしてこれらの代表外周点はほぼ等間隔になるように、方向コードを利用した周知の近似周長の算出方法によるほぼ等距離の点を代表外周点として選択する。すなわち境界点 P_{i-1} から点 P_i までの外周点列 $\{P_i\}$ (境界点のつらなり)の中で、方向コードが1, 3, 5, 7となる点すなわち水平または垂直方向に追跡する点の数を n_o 方向コードが2, 4, 6, 8となる点すなわち斜め方向に追跡する点の数を n_e と

と σ_2 とのなす角に等しいので、ベクトル σ_1 と σ_2 とのスカラー積(内積) $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ を算出することにより下式(4)から $\cos \varphi$ を求め、

$$\cos \varphi = \sigma_1 \cdot \sigma_2 / S_1 \cdot S_2 \dots\dots\dots (4)$$

本式(4)に次式(5)の関係をを用いて求められる。

$$\sin(\varphi / 2) = \sqrt{(1 - \cos \varphi) / 2} \dots\dots\dots (5)$$

なお、ここで(4)式のスカラー積 $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ は、 $\sigma_1 x, \sigma_2 x, \sigma_1 y, \sigma_2 y$ をそれぞれ各ベクトル σ_1, σ_2 の x 軸、 y 軸成分とするとき、

$$\sigma_1 x = (x_i - x_{i-1}), \sigma_2 y = (x_{i+1} - x_i)$$

$$\sigma_1 y = (y_i - y_{i-1}), \sigma_2 x = (x_{i+1} - x_i)$$

で表わされるので、次式により算出される。

$$\begin{aligned} \sigma_1 \cdot \sigma_2 &= \sigma_1 x \cdot \sigma_2 x + \sigma_1 y \cdot \sigma_2 y \\ &= (x_i - x_{i-1})(x_{i+1} - x_i) + (y_i - y_{i-1})(x_{i+1} - y_i) \end{aligned}$$

他方第10図における個別円弧の中心座標 $C_i(x_{oi}, y_{oi})$ (これは原点0から座標 C_i に到るベクトルとも考える。)は下式で求められる。

$$C_i = \{(\sigma_2 - \sigma_1) / 4|\sigma_2 - \sigma_1|\} \cdot R_i^0 + P_i \dots\dots\dots (6)$$

この式は境界点 P_i から、円弧の中心座標 C_i に向う単位ベクトル u が、

$$u = (\sigma 2 - \sigma 1) / |\sigma 2 - \sigma 1|$$

で表わされるので、点 P_i から円弧の中心 C_i に向うベクトルは

$$u \cdot R_i^0 = (\sigma 2 - \sigma 1) / |\sigma 2 - \sigma 1| \cdot R_i^0$$

となる関係を用いたものである。

以上で、代表外周点（境界点） P_{i-1}, P_i, P_{i+1} の3点から定まる個別円弧の中心座標 C_i と半径 R_i^0 が求まる。ここで前記の3点の中央の点 P_i を個別円弧代表点と呼ぶ。

なお個別円弧の中心を求める別法として、第11図の方法がある。これは、境界点 P_{i-1} と P_i を結ぶ線分 d_1 の垂直二等分線 h_1 と、同じく境界点 P_{i+1} と P_i を結ぶ線分 d_2 の垂直二等分線 h_2 の交点を個別円弧の中心 C_i とする方法で、境界点 P_i と円弧の中心 C_i との距離を半径 R_i^0 とするものである。この方法の場合、線分 d_1 と d_2 が近似的に等しくなくても良い。このようにして前記境界点データ $\{P_i, N_i, P_i\}$ から、代表外周点 $\{P_i\}$ （代表外周点 P_i の集まり）に対応する各個別円弧の中心座標 C_i 、半径 R_i^0 の集まりの個別円弧群デ

タ $\{C_i, R_i^0\}$ が得られる。

次に推定円演算部 1・9の説明に入る。この部には同一円・個別円弧群分離部、最小二乗円演算部が含まれ、まず該分離部において前記の個別円弧データを、異なる番号 i と j のもの同士で比較したとき、次式の条件を満たすものに分ける。

$$|R_i^0 - R_j^0| < \Delta R \text{ (一定微小値)}$$

$$|C_i - C_j| < \Delta C \text{ (一定微小値)}$$

つまり、半径がほぼ等しく、中心座標が近い円弧の集合に分割する。このようにして、同一円に含まれると考えられる同一円・個別円弧群データ $\{C_i, R_i^0, N_{ci}\}$ が得られる。ここで N_{ci} は上記の手順で求められた番号 i の個別の円弧が属すると考えられる推定円（最小二乗円、物体円）の番号を示す。

次に最小二乗円演算部は同一の推定円に属すると考えられる推定円群データ、 $\{C_i, R_i^0, N_{ci}, P_i, P_{i-1}, P_{i+1}, N_i\}$ （ただし内部の各行号は前記の通りである）を用いて、最小二乗法で推定円の座標 C_0 、半径 R_0 を推定する。

すなわち第12図において代表外周点（の座標）を $P_1 \sim P_6$ とし、3つの点（ P_1, P_2, P_3 ）から求まる円弧の中心座標、半径をそれぞれ（ C_2, R_2^0 ）とし、同様に点（ P_2, P_3, P_4 ）、（ P_3, P_4, P_5 ）、（ P_4, P_5, P_6 ）から定まる円弧の中心座標、半径をそれぞれ（ C_3, R_3^0 ）、（ C_4, R_4^0 ）としたとき、円弧の中心座標 $C_2 \sim C_4$ 、半径 $R_2^0 \sim R_4^0$ 、外周点の座標 $P_1 \sim P_6$ から推定円の中心 C_0 、半径 R_0 を求めるものである。

そこで推定円の中心 C_0 と前記の各個別円弧代表点 P_i との距離 R_i から推定円の半径 R_0 を差引いた残差（誤差）の2乗の和を最小にし得る推定円の半径および中心座標 C_0 を求める方法（最小二乗法）を取る。すなわち2乗誤差の和 I は下式で表わされる。

$$I = \sum_i (R_i - R_0)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

従つて和 I を最小とする、推定円の半径 R_0 、中心座標 $C_0 (= (x_0, y_0))$ については、下式を満たす必要がある。

$$\partial I / \partial x_0 = \partial I / \partial y_0 = \partial I / \partial R_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

従つて式(8)から次の3式が得られる。

$$\sum_i ((R_i - R_0) / R_i) (x_i - x_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (9) - 1$$

$$\sum_i ((R_i - R_0) / R_i) (y_i - y_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (9) - 2$$

$$\sum_i ((R_i - R_0) / R_i) = 0 \quad \dots\dots\dots (9) - 3$$

上記(9)-1, (9)-2, (9)-3の3式を解いて中心座標 (x_0, y_0) 、半径 R_0 の3つの値を求めればよい。しかしながら上記方程式は無理数を含んだ超越方程式となり単純に解けないので、この3式から次のような逐次方程式を導いて逐次近似法により求める。即ち第 n 次近似で求められた解としての推定円の中心座標、半径をそれぞれ (x_0^n, y_0^n) 、 R_0^n で表わしたとき第 $(n+1)$ 次近似の解である推定円の中心座標、半径 (x_0^{n+1}, y_0^{n+1}) 、 R_0^{n+1} は、

$$x_0^{n+1} = (\sum_i x_i + R_0^n \cdot x_0^n \cdot \sum_i (1/R_i^n) - R_0^n \cdot \sum_i (x_i/R_i^n)) / N \quad \dots\dots\dots (10) - 1$$

$$y_0^{n+1} = (\sum_i y_i + R_0^n \cdot y_0^n \cdot \sum_i (1/R_i^n) - R_0^n \cdot \sum_i (y_i/R_i^n)) / N \quad \dots\dots\dots (10) - 2$$

$$R_0^{n+1} = (\sum_i R_i^n) / N \quad \dots\dots\dots (10) - 3$$

ただしここで R_i^n は第 n 次の推定円の中心座標

(x_0^n, y_0^n) と、前記の各個別円弧代表点 P_i との距離、すなわち、

$$R_i^n = \sqrt{(x_i - x_0^n)^2 + (y_i - y_0^n)^2} \quad \dots\dots\dots (10) - 4$$

であり、 N は前記個別円弧の数である。

次に前記の逐次式 (10)-1~(10)-4 の具体的な演算に当つては解の収束を早めるために、第1次の解を次式のように前記の各個別円弧の半径 R_i^0 および、その中心座標 C_i の平均値として計算を進める。すなわち第1次の推定円の中心座標 (x_0^1, y_0^1) 、半径 R_0^1 は

$$x_0^1 = (\sum_i x_{0i}) / N \quad \dots\dots\dots (11) - 1$$

$$y_0^1 = (\sum_i y_{0i}) / N \quad \dots\dots\dots (11) - 2$$

$$R_0^1 = (\sum_i R_i^0) / N \quad \dots\dots\dots (11) - 3$$

として第2, 3 n 次と計算を進めるものである。このようにすれば通常 n の値としては1~5回で収束させることができる。

このようにして推定円(最小二乗円)の大きさと位置が、精度良く求められる。以上の結果から画像に含まれる円の個数、大きさ、位置が分り、

これが検出結果出力部20を介し判定結果 物体円検出データ21として出力される。

〔発明の効果〕

まず以上述べた本発明の主要構成部の機能を効果を含めつつ要約すれば、

① 連結性解析部15により、2値画像を独立パターンごとに分離し、これらのパターンごとの処理が可能となり独立した円形物体については、正しく円の推定を行うことができる。

② 境界点検出部16と外/内周点追跡演算部17により、重畳した円形物体の2値画像の輪郭を追跡して外/内周点列として整理された外/内周点列データ $\{P_i, F_i, N_i\}$ を作成し、

③ 円弧演算部18により、外/内周点列の凹み部を方向コード F_i で検出する ことにより、前記外/内周点列データを、個々の凸画像部ごとの外/内周点列データに分離することができ、それぞれの該データから代表外/内周点を選択して、対応する各個別円弧の中心座標と半径の個別円弧群データ $\{C_i, R_i^0\}$ が得られる。

④ 推定円演算部では、前記個別円弧群データが、各個別円弧の中心座標と、大きさの近い集合に分離され、このようにして得られる同一円・個別円弧群データについて、それぞれ、最小二乗法による円としての推定円を求める。

このように画像の輪郭点に着目し、点集合から円弧集合、同一集合などに多段階で分類していき、かつ速やかに物体円の推定を行うことができる。

このようにして本発明によれば次のような円形物体の位置、大きさ、個数を知ることができる。

㊦ 輪郭が円形状の任意物体について、孔を除外して、位置、大きさを知ることができる。

㊧ 円形物体が重畳していても、輪郭の一部が、2値画像に表われていれば、分離して検出することができる。

㊨ 外形形状に含まれる円弧部分の位置を知りたい場合それを検出することができる。

㊩ 円形物体でないものを、除外することが可能である。

㊪ 最小二乗法を用いる推定により、なめらかな

円形状でなくても、つまり縁がギザギザして、円を包絡線としているものでも、その形状を近似する円、を、従つて前記包絡線となる円も推定できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は従来の円形物体検出装置の構成を示すブロック図、第2図、第3図は第1図装置の画像の例を示す図、第4図は本発明の構成を示すブロック図、第5図は円形物体の重畳した場合の2値画像を示す図、第6図は一般の2値画像の境界点を示す図、第7図は 3×3 マスクにより連結性の定義を説明する図、第8図は外周点の方向コードを示す図、第9図は左回りに輪郭点を追跡して方向コードが動くとき、凸図形では減少方向に逆戻りすることはないことを説明する図、第10図は重畳物体の画像の個別円弧の大きさ、中心を求める方法を示す図、第11図は同じく個別円弧の中心と大きさを求める別の方法を示す図、第12図は推定円(最小二乗法円)を求める方法を説明する図である。

符号説明

1 1 ……円形物体、1 2 ……撮像手段、1 3 ……
 ……2 値化回路、1 4 ……画像情報入力回路、1 5
 ……連結性解析部、1 6 ……境界点検出部、1 7
 ……外／内周点追跡演算部、1 8 ……円弧演算部、
 1 9 ……推定円演算部、2 0 ……検出結果出力部、
 2 1 ……物体円検出データ、2 2 ……円形物体検
 出装置。

発明人 山 口 廣

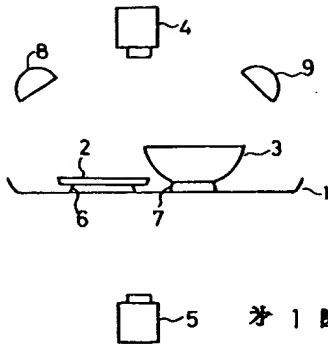


図 1

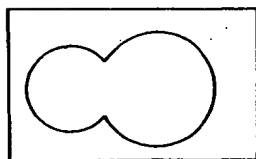


図 2

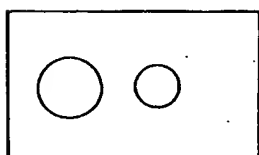


図 3

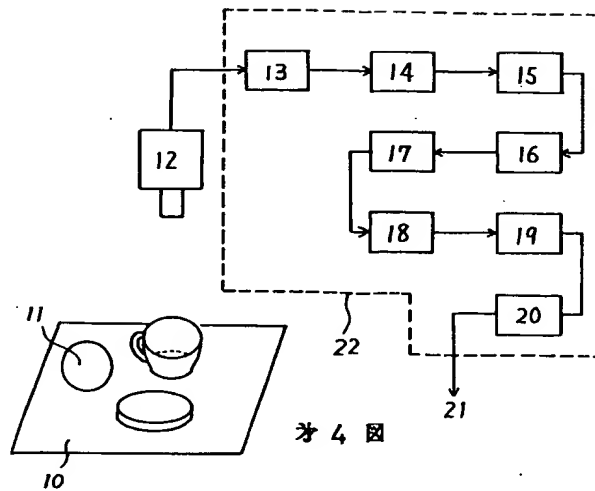


図 4

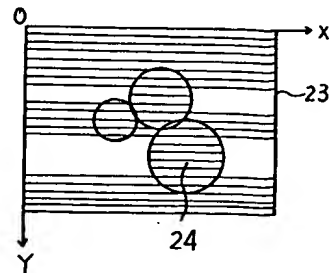
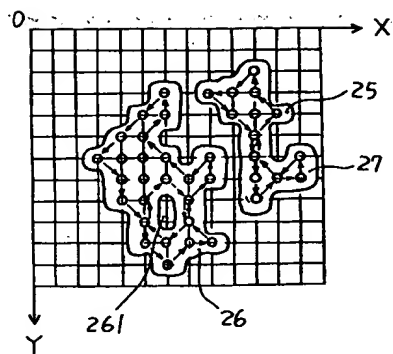
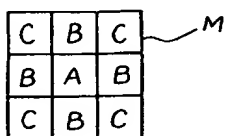


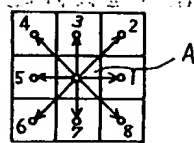
図 5



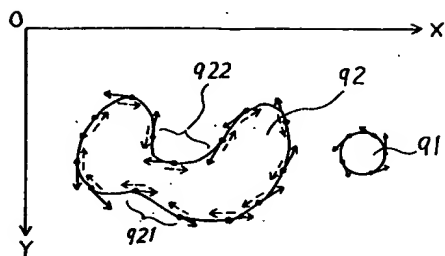
第 6 図



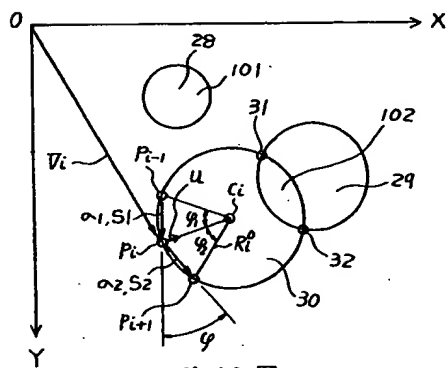
第 7 図



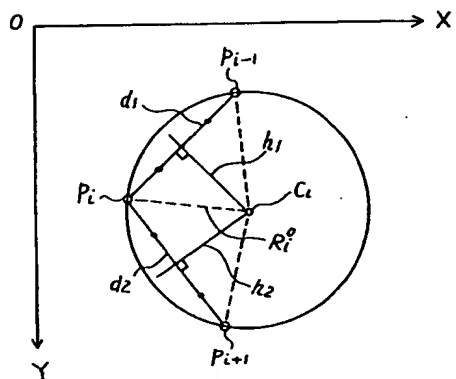
第 8 図



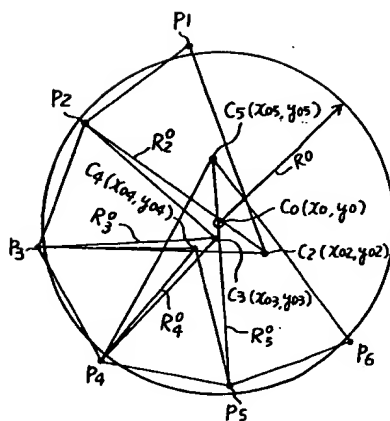
第 9 図



第 10 図



第 11 図



第 12 図

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.